

Primjena RTP protokola

Pajić, Hrvoje

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:748520>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-07**

Repository / Repozitorij:

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA**

Stručni studij

PRIMJENA RTP PROTOKOLA

Završni rad

Hrvoje Pajić

Osijek, 2024.



FERIT

FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

Obrazac Z1S: Obrazac za imenovanje Povjerenstva za završni ispit na preddiplomskom stručnom studiju

Osijek, 15.02.2024.

Odboru za završne i diplomske ispite

Imenovanje Povjerenstva za završni ispit na preddiplomskom stručnom studiju

Ime i prezime Pristupnika:	Hrvoje Pajić
Studij, smjer:	Računarstvo
Mat. br. Pristupnika, godina upisa:	AR 4745, 19.07.2019.
OIB Pristupnika:	00771520813
Mentor:	mr. sc. Anđelko Lišnjić
Sumentor:	,
Sumentor iz tvrtke:	
Predsjednik Povjerenstva:	prof. dr. sc. Krešimir Grgić
Član Povjerenstva 1:	mr. sc. Anđelko Lišnjić
Član Povjerenstva 2:	izv. prof. dr. sc. Višnja Križanović
Naslov završnog rada:	Primjena RTP protokola
Znanstvena grana završnog rada:	Telekomunikacije i informatika (zn. polje elektrotehnika)
Zadatak završnog rada	Migracijom cijele telekomunikacijske mreže i njenih usluga koje rade u stvarnom vremenu prema IP mrežama pojavila se i potreba za protokolima koji to podržavaju. Jedan od njih je transportni protokol u stvarnom vremenu - RTP. Zadatak je detaljno proučiti RTP protokol i njegove inačice te dati poveznicu s kvalitetom usluge koju podržavaju. U praktičnom dijelu potrebno je snimiti signalizaciju u kojoj je sadržan i RTP protokol na jednom od VoIP sustava. Tema rezervirana za: Hrvoje Pajić
Prijedlog ocjene pismenog dijela ispita (završnog rada):	Izvrstan (5)
Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:	Primjena znanja stečenih na fakultetu: 3 bod/boda Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 3 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 2 bod/boda Razina samostalnosti: 2 razina
Datum prijedloga ocjene od strane mentora:	15.02.2024.
Potvrda mentora o predaji konačne verzije rada:	Mentor elektronički potpisao predaju konačne verzije.
	Datum:

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**IZJAVA O ORIGINALNOSTI RADA**

Osijek, 06.03.2024.

Ime i prezime studenta:

Hrvoje Pajić

Studij:

Računarstvo

Mat. br. studenta, godina upisa:

AR 4745, 19.07.2019.

Turnitin podudaranje [%]:

7

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Primjena RTP protokola**

izrađen pod vodstvom mentora mr. sc. Anđelko Lišnjić

i sumentora ,

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija.

Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis studenta:

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. REAL TIME TRANSPORT PROTOCOL	2
2.1. RTP - <i>Data Transfer Protocol</i>	7
3. PRIMJENA RTP PROTOKOLA	11
3.1. RTP u VoIP-u	12
3.2. RTP u online igrama	14
3.3. RTP u IPTV-u (<i>Internet Protocol Television</i>)	15
3.4. Multiprijenos medija	17
3.4.1. RTSP	19
3.4.2. RTP proces	22
4. PRAKTIČNI DIO RADA	24
4.1. ANALIZA RTP PAKETA	26
5. ZAKLJUČAK	30
LITERATURA	31
SAŽETAK	32
SUMMARY	33
PRILOZI	34
ŽIVOTOPIS	35

1. UVOD

Veliki dio sastanaka u današnje vrijeme odvija *online* putem različitih platformi. To nam omogućavaju komunikacijski protokoli razvijeni u te svrhe. Jedan od njih je *Real-Time Transport Protocol* (RTP) koji omogućuje komunikaciju u stvarnom vremenu.

RTP je razvijen prema *User Datagram Protocol*-u i osmišljen je kako bi se maksimalno smanjila latencija i gubitak paketa.

Za razliku od RTP-a koji prenosi medijske podatke *Real-Time Transport Control Protocol* (RTCP) ima ulogu praćenja podataka, odnosno nadgleda kvalitetu podataka koji se prenose putem RTP protokola. Njegova glavna funkcija je omogućiti visoku kvalitetu usluge koje se pruža slanjem statističkih podataka sudionicima.

U prvom dijelu rada obrađena je teorijska podloga nastanka i stvaranja RTP protokola dok je drugi dio rada fokusiran na način rada te primjenu u *Voice over Internet Protocol*-u (VoIP) koji je zamijenio klasične analogne telefone.

U trećem praktičnom dijelu rada snimljena je signalizacija jedne VoIP veze i analiziran RTP promet.

2. REAL TIME TRANSPORT PROTOCOL

RTP odnosno transportni protokol isporučuje podatke iz točke A u točku B u realnom vremenu i predstavlja mrežni standard koji je dizajniran kako bi se prenosili podaci poput audia i videa. Standard je optimiziran kako bi se podaci isporučivali u realnom vremenu. RTP protokol koristi se pri internetskoj telefoniji te video telekomunikacijama. Njegova sposobnost omogućava konferencije koje uključuju i više od dva sudionika.

Ovaj protokol datira iz 1996. godine i za njegovu standardizaciju je zadužen IETF (*engl. Internet Engineering Task Force*), koji je razvio RTP s ciljem slanja video poziva u realnom vremenu putem podatkovne mreže. Zbog prirode distribucije podataka putem Interneta očekivalo se da se paketi distribuiraju do krajnje točke u različitim vremenskim intervalima uz prisustvo pogreške, redoslijeda i mogućnosti da se uopće ne isporuče [1].

Uzimajući u obzir prethodno navedene probleme distribucije podataka, RTP ima sposobnost rješavanja ovih problema kako se ne bi utjecalo na kvalitetu poziva. Upravo to omogućava brzu isporuku podataka, jer se ne daje prednost sigurnosnoj isporuci svih komponenti već brzini isporuke.

RTP protokol temelji se na određenim prednostima i nedostacima u njegovoj uporabi, neke od prednosti RTP protokola su sljedeće [1]:

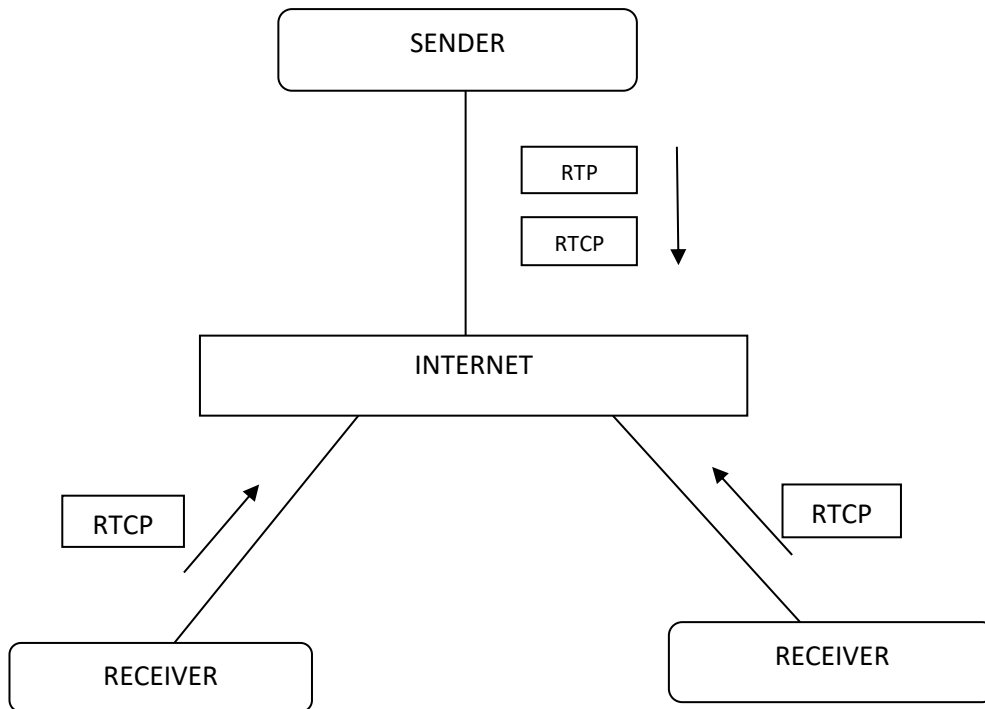
1. Mala latencija
2. Podatkovni paketi su obilježeni s redoslijedom i vremenskom oznakom kako bi se mogli nanovo poslati ukoliko ne stignu na odredište
3. Podržava multicast komunikaciju
4. Može se koristiti za različite oblike aktivnog prijenosa podataka

Pored navedenih prednosti RTP ima i nedostataka. Neki od njih su [1]:

1. Ne garantira QoS (*engl. Quality of Service*), ali pak nudi informacije koje su potrebne kako bi se QoS implementirao na nekom drugom mjestu u stogu

2. Ne sudjeluje u raspodjeli resursa koji bi mogli biti potrebni za prijenos podataka.

Na slici 2.1. prikazana je struktura toka RTP i RTCP protokola.



Slika 2.1. Struktura toka RTP i RTCP protokola.

RTP i RTCP koriste se u kombinaciji što omogućuje praćenje isporuke podataka za velike multicast mreže. RTP prenosi medijske tokove, dok se RTCP koristi za praćenje statistike prijenosa i kvalitete usluge. Prije samog slanja podataka oni se „umotavaju“ u nekoliko slojeva sa informacijama kako bi se moglo kontrolirati njihovo slanje odnosno usmjeravanje do primatelja. Postoji razlika u samom protokolu slanja podataka ovisno o njihovom tipu. Primjerice, ukoliko se šalje datoteka, sama brzina slanja podataka nije od presudne važnosti, no ukoliko se šalju podaci tipa audio ili video zapisa prednost prevladava nad brzinom a ne na kvalitetom isporuke, jer ukoliko se zagubi poslani paket on se zanemaruje i nastavlja se s prijenosom u stvarnom vremenu. Prilikom prijenosa i audio i video zapisa postoje dodatni protokoli koji štite podatke kako bi se prijenos sinkronizirao.

Pored dosad opisanih karakteristika RTP protokola postoji još nekoliko njegovih svojstava poput:

- Sigurnosti,
- Detekcije izgubljenih podataka,
- Identifikacije sadržaja.

Iako se protokoli RTP i RTCP koriste u kombinaciji, važno ih je razlikovati. RTCP protokol prenosi statističke podatke vezane za medijsku vezu kao što su [2]:

- Broj poslanih paketa,
- Broj primljenih paketa,
- Broj izgubljenih paketa,
- Vrijeme kašnjenja paketa,
- Načine i varijacije kašnjenja.

Jedna od najvažnijih i najvećih razlika ova dva protokola jest što RTP protokol jedino nudi način prijenosa podataka u realnom vremenu dok se RTCP protokol brine za kvalitetu prijenosa tog sadržaja putem RTP protokola. RTP se nalazi u mrežnom sloju OSI modela i uglavnom se koristi za prijenose medija u stvarnom vremenu .

RTP funkcioniра na UDP protokolu, zbog čega ne osigurava sigurnu isporuku podataka.

Prilikom slanja podataka kao što su video ili audio zapisi, podaci se multipleksiraju u RTP pakete. Potom se kreiraju UDP paketi. UDP paketi se isporučuju na IP protokol. Cijeli se ovaj proces odvija na strani pošiljatelja, dok se inverzni proces događa na strani primatelja. Na slici 2.2. prikazan je format i dijelovi RTP-a.

VER	P	X	Contr. count	M	Payload Type	Sequence number
Timestamp						
Synchronization Source Identifier						
Contributor Identifier						
⋮						
Contributor Identifier						

Slika 2.2. Format i dijelovi RTP protokola.

RTP zaglavlje prikazano na slici 2.2. sastoji se od 32-bitnih riječi i različitih polja kao što su Ver., P, X, CC, M, vrsta tereta, broj sekvence, vremenska oznaka, sinkronizacijski izvorni identifikator, doprinosni izvornih identifikatora.

1. Polje VER na slici 2.2 odnosi se na polje koje navodi verziju protokola.
2. Parametar P označava podstavljen bitove koji se koriste za paket u višekratniku od 4 bajta i koristi se za dobivanje informacije je li upotrebljavano dopunjavanje paketa. Ukoliko je vrijednost 1 tada je prisutna nadopuna paketa dok ukoliko je vrijednost 0 tada nije prisutna nadopuna paketa.
3. Zaglavlje proširenja sa oznakom X označava prisutno zaglavlje proširenja. Ako je vrijednost ovog polja postavljena na 1, tada označava dodatno proširenje zaglavlja između podataka i osnovnog zaglavlja, a ako je vrijednost 0, tada nema dodatnog proširenja.
4. Doprinosni izvori odnosi se na polje CC koje označava izvore koji doprinose od 0 do 15. 4-bitno polje koje se koristi za definiranje broja izvora.
5. Marker bit (M) u zaglavlju označava bit markera koji se koristi za označavanje početka i kraja okvira.
6. RTP *Payload* može se sastojati od više uzoraka, koji se mogu kodirati na bilo koji način potreban aplikaciji. Aplikacije u realnom vremenu također zahtijevaju vremensku oznaku koja se dodjeljuje izvoru s prvim uzorkom u svakom paketu. Vremenska oznaka olakšava poništavanje učinaka varijacije kašnjenja i također omogućuje sinkronizaciju višestrukih tokova. RTP *Payload* je 7-bitni numerički identifikator koji identificira format korisnih podataka.
7. Redni broj pokazuje broj isporučenih RTP paketa i povećava se za jednu vrijednost svaki put kada se paket pošalje.

8. Vremenska oznaka označava polje vremenske oznake te pomaže u smanjenju podrhtavanja. Generira ga izvor streama kako bi se označio kada je generiran prvi paket.
9. Identifikator izvora sinkronizacije pruža informacije o paketu s kojim je stream povezan. Ovo je 32-bitno polje koje se koristi za identifikaciju i definiranje izvora. Vrijednost za ovaj identifikator izvora je slučajni broj koji odabire sam izvor. Ovo uglavnom pomaže u rješavanju sukoba koji nastaju kada dva izvora započnu s istim rednim brojem.
10. Identifikatori izvora doprinosa je također 32-bitno polje koje se koristi za identifikaciju izvora gdje je u sesiji prisutno više od jednog izvora. Izvor miksera koristi identifikator izvora sinkronizacije, a ostali preostali izvori (najviše njih 15) koriste identifikator suradnika.

Sesija se definira kao grupa sudionika koji komuniciraju putem RTP-a. Svaki sudionik može istovremeno sudjelovati u više RTP sesija. U multimedijским sesijama, svaki medij obično se prenosi kroz zasebnu RTP sesiju s vlastitim RTCP paketima, osim ako se multipleksira više medija u jedan podatkovni tok. Sudionik razlikuje različite RTP sesije prema parovima odredišnih transportnih adresa, gdje svaki par sadrži jednu mrežnu adresu i par portova za RTP i RTCP. Sudionici u jednoj RTP sesiji mogu dijeliti iste odredišne transportne adrese (kao u IP *multicasting-u*) ili imati različite adrese za svakog sudionika (kao u pojedinačnim *unicast* mrežnim adresama i parovima portova). U slučaju jednosmjernog slanja, sudionik može primiti podatke od svih drugih sudionika koristeći isti par portova ili koristiti različite parove portova za svakog sudionika. Bitna karakteristika RTP sesije je očuvanje odvojenog prostora za SSRC (*synchronization source*) identifikatore. Skup sudionika u jednoj RTP sesiji uključuje one koji mogu primiti SSRC identifikatore od drugih sudionika putem RTP-a ili RTCP-a. Primjerice, u trostranoj konferenciji implementiranoj putem *unicast* UDP-a, svaki sudionik prima podatke od druga dva sudionika na zasebnim parovima priključaka. Ako svaki sudionik šalje RTCP povratne informacije samo jednom od druga dva sudionika, tada konferencija ima tri odvojene RTP sesije. Ako svaki sudionik šalje RTCP povratne informacije o prijemu trećeg sudionika oboma ostalim sudionicima, konferencija se smatra jednom višestranom RTP sesijom. Ove

varijacije dopuštene su u okviru RTP-a, ali određeni kontrolni protokol ili dizajn aplikacije obično nameću ograničenja na te varijacije [3].

2.1. RTP - *Data Transfer Protocol*

Kako bi se detaljnije objasnilo zaglavlje protokola, prikazano na slici 2.2., važno je definirati njegove osnovne komponente. Prvih dvanaest okteta prisutno je u svakom RTP paketu, dok se popis CSRC identifikatora dodaje samo kada ga ubaci mikser to jest uređaj ili komponenta koja spaja više dolaznih audio ili video tokova u jedan tok. Mikser se obično koristi u situacijama gdje više sudionika šalje audio ili video podatke, a potreba postoji za kombiniranjem tokova prije nego što se oni prosljede ostalim sudionicima. Ovo može biti korisno u konferencijskim pozivima, mrežnim sastancima ili drugim suradničkim aplikacijama gdje sudionici žele čuti ili vidjeti sve prisutne. Mikser preuzima pojedinačne RTP tokove iz različitih izvora, spaja ih i šalje kao složeni RTP tok. Kombinirani tok može sadržavati audio ili video podatke svih sudionika, omogućavajući svakom sudioniku da primi sve doprinose ujedinjene struje. Mikser je posebno bitan u situacijama komunikacije s više sudionika, gdje postoji više sudionika koji razmjenjuju medijske tokove u stvarnom vremenu. Sam proces miksanja može uključivati prilagodbu razina zvuka, sinkronizaciju tokova i upravljanje različitim kodiranjima kako bi se osiguralo dosljedno i visokokvalitetno iskustvo za sve sudionike. U nastavku su navedene važne informacije u poljima RTP protokola [4]:

- verzija (V)= 2 bita

Ovo polje identificira RTP verziju. Verzija definirana ovom specifikacijom je dvije (2). Prva verzija nacrtala RTP-a koristila je vrijednost 1, a protokol koji je izvorno implementiran u audio alatu "vat" koristio je vrijednost 0.

- *padding* (P)= 1 bit

Ako je bit za punjenje postavljen, kraj paketa sadrži jedan ili više dodatnih okteta za punjenje koji nisu dio korisnog opterećenja. Posljednji oktet nosivosti sadrži broj okteta nosivosti koje treba zanemariti. Ispuna može biti potrebna za određene algoritme šifriranja s fiksnim veličinama bloka ili za prijenos više RTP paketa u podatkovnim jedinicama protokola nižeg sloja.

- proširenje (*engl. extension - X*)= 1 bit

Ako je bit proširenja postavljen, nakon fiksnog zaglavlja mora slijediti točno jedno proširenje zaglavlja.

- CSRC broj (CC)= 4 bita

CSRC broj sadrži broj CSRC identifikatora koji slijede nakon fiksnog zaglavlja.

- marker (M)= 1 bit

Tumačenje markera definirano je profilom. Svrha mu je omogućiti označavanje značajnih događaja kao što su granice okvira u toku paketa. Profil može definirati dodatne bitove markera ili odrediti da nema bita markera promjenom broja bitova.

- vrsta nosivosti (*engl. payload type - PT*)= 7 bita

Ovo polje identificira format RTP korisnih podataka i određuje njegovu interpretaciju od strane aplikacije. Profil može navesti zadano statičko mapiranje kodova vrste korisnih podataka u formate korisnih podataka. Dodatni kodovi tipa korisnog opterećenja mogu se definirati dinamički putem sredstava koja nisu RTP. Skup zadanih preslikavanja za audio i video naveden je u RFC-u 3551. RTP izvor može promijeniti vrstu korisnih podataka tijekom sesije.

- redni broj (*engl. sequence number*) = 16 bita

Redni broj se povećava za jedan za svaki poslani RTP paket i može ga koristiti primatelj za otkrivanje gubitka paketa i vraćanje slijeda paketa. Početna vrijednost rednog broja trebala bi biti nasumična, nepredvidiva kako bi se otežali napadi enkripcije poznatog otvorenog teksta, čak i ako sam izvor nije šifriran jer paketi mogu proći kroz pretvarač.

- vremenska oznaka (*engl. timestamp*) = 32 bita

Vremenska oznaka odražava trenutak uzorkovanja prvog okteta u RTP paketu. Trenuci uzorkovanja moraju se izvesti iz takta koji se monotonno povećava linearno s vremenom kako bi se omogućila sinkronizacija i proračuni podrhtavanja. Razlučivost takta mora biti dovoljna da zadovolji potrebnu točnost sinkronizacije i izmjeri podrhtavanje pri dolasku paketa (jedan ciklus takta po video okviru obično nije dovoljan). Frekvencija takta ovisi o formatu podataka koji se prenosi kao korisni teret i navedena je statički u konfiguracijskoj datoteci ili specifikaciji formata korisnog opterećenja koja definira taj format, ili se može specificirati dinamički za formate korisnog opterećenja definirane sredstvima koja nisu RTP. Ako se RTP paketi

generiraju povremeno, nominalni trenutak uzorkovanja određen iz sata uzorkovanja trebao bi se koristiti umjesto očitavanja sistemskog sata. Na primjer, za zvuk s fiksnom brzinom, sat vremenske oznake može se povećati za 1 u svakom razdoblju uzorka. Ako audio aplikacija čita dijelove koji pokrivaju 160 razdoblja uzorkovanja s ulaznog uređaja, vremenska oznaka svakog takvog dijela povećava se za 160, bez obzira na to je li komad poslan u paketu ili ispušten kao tišina. Početna vrijednost vremenske oznake treba biti nasumična, kao i kod rednog broja. Nekoliko uzastopnih RTP paketa imat će jednake vremenske oznake ako su generirani odjednom, npr. pripadaju istom video okviru. Uzastopni RTP paketi mogu sadržavati vremenske oznake koje nisu monotone ako se podaci ne prenose redosljedom kojim su uzorkovani, kao u slučaju MPEG interpoliranih video okvira. RTP vremenske oznake iz različitih medijskih tokova mogu napredovati različitim brzinama i obično imaju neovisne, nasumične pomake. Stoga, iako su ove vremenske oznake dovoljne za rekonstruirati vremenski raspored jednog toka, izravno uspoređivanje RTP vremenskih oznaka iz različitih medija nije učinkovito za sinkronizaciju. Umjesto toga, za svaki medij RTP vremenska oznaka povezana je s trenutkom uzorkovanja uparivanjem s vremenskom oznakom iz referentnog sata koji predstavlja vrijeme kada su uzorkovani podaci koji odgovaraju RTP vremenskoj oznaci. Referentni sat dijele svi mediji koji se sinkroniziraju. Parovi vremenskih oznaka ne prenose se u svakom podatkovnom paketu, već nižom brzinom u RTCP paketima.

Trenutak uzorkovanja odabran je kao referentna točka za vremensku oznaku RTP jer je poznat krajnjoj točki odašiljača i ima zajedničku definiciju za sve medije, neovisno o odgodama kodiranja ili drugoj obradi. Svrha je omogućiti sinkroniziranu prezentaciju svih medija uzorkovanih u isto vrijeme. Aplikacije koje prenose pohranjene podatke umjesto podataka uzorkovanih u stvarnom vremenu obično koriste vremensku traku virtualne prezentacije izvedenu iz vremena na satu kako bi odredile kada treba predstaviti sljedeći okvir ili drugu jedinicu svakog medija u pohranjenim podacima. U ovom slučaju, RTP vremenska oznaka bi odražavala vrijeme prezentacije za svaku jedinicu. To jest, RTP vremenska oznaka za svaku jedinicu bila bi povezana s vremenom (referentnog) sata u kojem jedinica postaje aktualna na vremenskoj traci virtualne prezentacije. Audio i video mogu prenositi i različita računala ako su referentni satovi na dva računala sinkronizirani na neki način, primjerice kao što je NTP. Prijemnik zatim može sinkronizirati prezentaciju audio i video paketa povezujući njihove RTP vremenske oznake pomoću parova vremenskih oznaka u RTCP SR paketima.

- SSRC= 32 bita

Polje SSRC identificira izvor sinkronizacije. Ovaj identifikator treba odabrati nasumično, s namjerom da dva izvora sinkronizacije unutar iste RTP sesije nemaju isti SSRC identifikator. Iako je vjerojatnost da više izvora odabere isti identifikator mala, sve RTP implementacije moraju biti spremne za otkrivanje i rješavanje kolizija.

- CSRC popis = 0 do 15 stavki, svaka po 32 bita

Popis CSRC identificira izvore doprinosa za sadržaje koji se nalaze u paketu. Broj identifikatora zadan je poljem CC. Ako postoji više od 15 izvora koji doprinose, samo 15 se može identificirati. CSRC identifikatore ubacuju mikseri, koristeći SSRC identifikatore izvora doprinosa. Primjerice, za audio pakete navedeni su SSRC identifikatori svih izvora koji su zajedno pomiješani da bi se stvorio paket, što omogućuje ispravnu indikaciju govornika na slušalici.

3. PRIMJENA RTP PROTOKOLA

Protokol u stvarnom vremenu se koristi u raznim aplikacijama koje zahtijevaju komunikaciju u stvarnom vremenu. Neke od primjena RTP protokola su [3]:

- Govor preko IP-a (*VoIP*): RTP se široko koristi u *VoIP* aplikacijama za prijenos glasovnih paketa u stvarnom vremenu. Pomaže u održavanju kvalitete zvuka i sinkronizacije tijekom glasovnih poziva.
- Video konferencije: RTP se koristi u sustavima video konferencija za prijenos video i audio tokova između sudionika u stvarnom vremenu. Osigurava prijenos audio i video podataka s malom latencijom.
- Streaming: RTP se koristi u uslugama strujanja, kao što je live video streaming i online igranje, za isporuku multimedijskog sadržaja putem Interneta. Pomaže u održavanju vremenskih i sinkroniziranih audio i video tokova.
- Telemedicina: U aplikacijama za telemedicinu, RTP se koristi za prijenos medicinskih podataka u stvarnom vremenu, uključujući video zapis pacijenta i podatke medicinske telemetrije, zdravstvenim radnicima za konzultacije na daljinu.
- Online igre: Mnoge online igre za više igrača koriste RTP za prijenos audio i video podataka igre u stvarnom vremenu, omogućujući igračima besprijekornu interakciju.
- IPTV (*engl. Internet Protocol Television*): IPTV usluge koriste RTP za isporuku TV kanala uživo i video sadržaja na zahtjev pretplatnicima putem IP mreža.
- Sustavi nadzora: RTP se može koristiti u sustavima nadzora koji se temelje na IP-u za prijenos videa i zvuka uživo sa sigurnosnih kamera na nadzorne stanice.
- WebRTC (*engl. Web Real-Time Communication*): WebRTC se koristi za komunikaciju u stvarnom vremenu u web preglednicima. Oslanja se na RTP za audio i video prijenos

između web aplikacija, čime se ostvaruju funkcije kao što su video konferencije i glasovni chat u web aplikacijama.

- Multimedijske komunikacije u mobilnim aplikacijama: Mnoge mobilne aplikacije, kao što su aplikacije za razmjenu poruka i društvenih medija, koriste RTP za podršku funkciji glasovnih i video poziva.
- Automobilske komunikacije: u modernim vozilima RTP se koristi u sustavima za zabavu i komunikaciju u automobilu za isporuku audio i video sadržaja putnicima.

RTP i njegov popratni protokol RTCP pružaju osnovne mehanizme za komunikaciju u stvarnom vremenu, uključujući identifikaciju korisnih sadržaja, numeriranje niza, vremenske oznake i praćenje kvalitete usluge. Ove mogućnosti čine ga kritičnom komponentom za razne aplikacije koje zahtijevaju prijenos podataka u stvarnom vremenu s malom latencijom.

3.1. RTP u VoIP-u

Paketi glasovnih podataka u stvarnom vremenu prenose se preko mreža kao što je Internet, koristeći različite protokole i tehnologije kako bi se osigurala niska latencija i pouzdana komunikacija. Jedna od najčešćih metoda prijenosa glasovnih paketa u stvarnom vremenu je tehnologija *Voice over IP (VoIP)*. Dan je pregled načina na koji se glasovni paketi u stvarnom vremenu prenose u *VoIP* sustavu [4]:

- Snimanje glasa: Proces počinje snimanjem audio signala, obično pomoću mikrofona ili slušalica povezanih s korisničkim uređajem kao što je računalo, pametni telefon ili IP telefon. Analogni zvuk se pretvara u digitalni format pomoću analogno-digitalnog pretvarača (ADC).
- Kompresija zvuka: Kako bi se smanjila količina prenesenih podataka i optimiziralo korištenje propusnosti, audio kodeci (koder-dekoderi) često se koriste za komprimiranje digitalnog zvuka. Neki od *VoIP* audio kodeka su G.711 (nekomprimirani - PCM), G.729 i Opus. Kompresijom smanjujemo redundanciju na izvorištu.

- Pakiranje: Komprimirani podaci se uokviruju u pakete. Svaki paket obično sadrži blok audio podataka, kao i dodatne informacije kao što su sekvencijski brojevi i vremenske oznake.
- IP usmjeravanje: Glasovni paketi se zatim enkapsuliraju u IP pakete koji se usmjeravaju do odredišta preko interneta ili privatnih mreža. Odabir IP usmjeravanja i mrežne infrastrukture ovisi o specifičnom *VoIP* sustavu i konfiguraciji mreže.
- Upravljanje kvalitetom usluge (*QoS*): Kako bi se osiguralo visokokvalitetna govorna komunikacija, mogu se koristiti mehanizmi *QoS*-a. *QoS* daje prioritet glasovnim paketima u odnosu na druge vrste podatkovnog prometa kako bi se smanjilo kašnjenje i gubitak paketa. Ovo određivanje prioriteta pomaže u održavanju kvalitete poziva čak i tijekom zagušenja u mrežama.
- Prijenos: Glasovni paketi se prenose preko mreže do svog odredišta. Ovaj se prijenos može dogoditi putem žične ili bežične veze, ovisno o korisničkom uređaju i izboru mreže.
- Prijem glasa: Na prijemnoj strani paketi glasovnih podataka se obrađuju - izdvajaju iz IP paketa i rekonstruiraju u izvornu poruku.
- Audio dekompresija: dekomprimiraju se komprimirane audio podatke pomoću istog audio kodeka koji se koristi za kompresiju, vraćajući zvuk na izvornu kvalitetu.
- Reprodukcijska: dekomprimirani zvuk šalje se na korisnikove zvučnike ili slušalice radi reprodukcije. Korisnici mogu čuti glasovnu komunikaciju u stvarnom vremenu.
- Sinkronizacija: *Real-Time Control Protocol* (RTCP) koristi se za održavanje sinkronizacije između zvuka i videa (ako je primjenjivo) i upravljanje podrhtavanjem. RTCP daje povratne informacije o mrežnim uvjetima i pomaže prijemniku prilagoditi svoj međuspremnik za reprodukciju u skladu s tim.

Kroz ovaj proces, različiti protokoli i tehnologije rade zajedno kako bi osigurali da se paketi glasovnih podataka u stvarnom vremenu učinkovito prenose s minimalnim kašnjenjem i dobrom kvalitetom, čime se omogućuje glatka glasovna komunikacija u VoIP aplikacijama.

3.2. RTP u online igrama

RTP igra ključnu ulogu u mrežnom igranju olakšavajući prijenos audio i video podataka u stvarnom vremenu između igrača i poslužitelja igara. Ključna uloga RTP-a u igranju na mreži je [5]:

Prijenos podataka u stvarnom vremenu - RTP je dizajniran za prijenos podataka u stvarnom vremenu, što ga čini idealnim za online igre gdje je komunikacija niske latencije kritična. Osigurava brz prijenos audio i video podataka, dopuštajući igračima da iskuse minimalnu latenciju između svojih radnji i odgovarajućih događaja u igri.

Glasovni chat - mnoge online igre uključuju značajke glasovnog chata kako bi igrači mogli komunicirati tijekom igranja. U tim se scenarijima RTP obično koristi za prijenos glasovnih podataka kako bi se osigurala komunikacija između igrača u stvarnom vremenu.

Sinkronizacija - RTP uključuje mehanizme označavanja vremena i numeriranja niza, koji su bitni za sinkronizaciju audio i video tokova. U online igrama, ova sinkronizacija osigurava da audiovizualna povratna informacija bude u skladu s događajima i radnjama u igri, poboljšavajući iskustvo igranja.

Kvaliteta usluge (*QoS*) - RTP se može koristiti zajedno s mehanizmima kvalitete usluge (*QoS*) za davanje prioriteta igračem prometu u odnosu na druge vrste mrežnog prometa. Ovo određivanje prioriteta pomaže smanjenju gubitka paketa i podrhtavanja.

Streaming multimedije - neke online igre koriste multimedijske elemente, kao što su filmske sekvence u igri ili strujanje sadržaja. RTP se može koristiti za prijenos ovih multimedijskih tokova u stvarnom vremenu, osiguravajući da igrači mogu uživati u besprijeckornom, impresivnom iskustvu igranja.

Povratne informacije i prilagodba - kako RTP radi u kombinaciji s RTCP-om, RTCP daje povratne informacije o uvjetima na mreži. Ove povratne informacije pomažu klijentima i poslužiteljima igara da se prilagode promjenjivim mrežnim uvjetima, optimizirajući iskustvo igranja i minimizirajući smetnje.

Interakcija za više igrača - u online igrama za više igrača, RTP omogućuje igračima međusobnu interakciju putem glasovnog chata ili drugih metoda komunikacije u stvarnom vremenu. To poboljšava timski rad i koordinaciju između igrača, što je često ključno u timskim igrama.

Prilagodba i integracija - programeri igara mogu prilagoditi i integrirati RTP u svoje sustave igara kako bi zadovoljili specifične zahtjeve. Ova fleksibilnost omogućuje programerima da prilagode protokol potrebama svoje igre.

Niska potrošnja propusnosti - RTP se može konfigurirati za učinkovito korištenje propusnosti, što je važno za online igranje kako bi se smanjio utjecaj na internetske veze igrača. Učinkovito korištenje propusnosti pomaže u sprječavanju kašnjenja i usporavanja tijekom igranja.

Općenito, RTP je važan protokol u online igrama jer osigurava nisku latenciju i visokokvalitetni prijenos audio i video podataka u stvarnom vremenu. Indirektno pruža impresivno iskustvo igranja, posebno u igrama za više igrača gdje su ključni komunikacija i sinkronizacija između igrača. RTP, zajedno s drugim mrežnim tehnologijama i *QoS*-om pomaže u stvaranju ugodnog okruženja za online igranje.

3.3. RTP u IPTV-u (*Internet Protocol Television*)

Protokol prijenaosa u stvarnom vremenu igra važnu ulogu u televiziji internetskog protokola olakšavajući prijenos audio i video sadržaja preko IP mreža. IPTV je tehnologija koja omogućuje isporuku televizijskog sadržaja gledateljima putem internetske veze umjesto tradicionalnog emitiranja a RTP poboljšava IPTV kvalitetu na više načina [6]:

Multimedijski prijenos u stvarnom vremenu: IPTV se oslanja na RTP za prijenos audio i video tokova u stvarnom vremenu te osigurava da se multimedijski sadržaj kao što su TV kanali ili video na zahtjev (VoD) isporučuju s minimalnom latencijom, pružajući gledateljima ugodno iskustvo gledanja.

Sinkronizacija *streama*: U IPTV sustavu, više audio i video *streamova* potrebna je sinkronizacija njihovih signala. RTP uključuje mehanizme označavanja vremena i numeriranja niza kako bi se pomoglo u održavanju sinkronizacije između audio i video tokova, osiguravajući da gledatelji ispravno vide i čuju sadržaj.

Kvaliteta usluge (*QoS*): IPTV usluge obično zahtijevaju *QoS* mehanizme za davanje prioriteta video i audio prijenosu u odnosu na druge vrste internetskog prometa. RTP se može koristiti u kombinaciji s *QoS* protokolima i mrežnim tehnologijama kako bi se zajamčila kvaliteta multimedijskog sadržaja, smanjio gubitak paketa i minimizirao podrhtavanje što je ključno za visokokvalitetnu video reprodukciju.

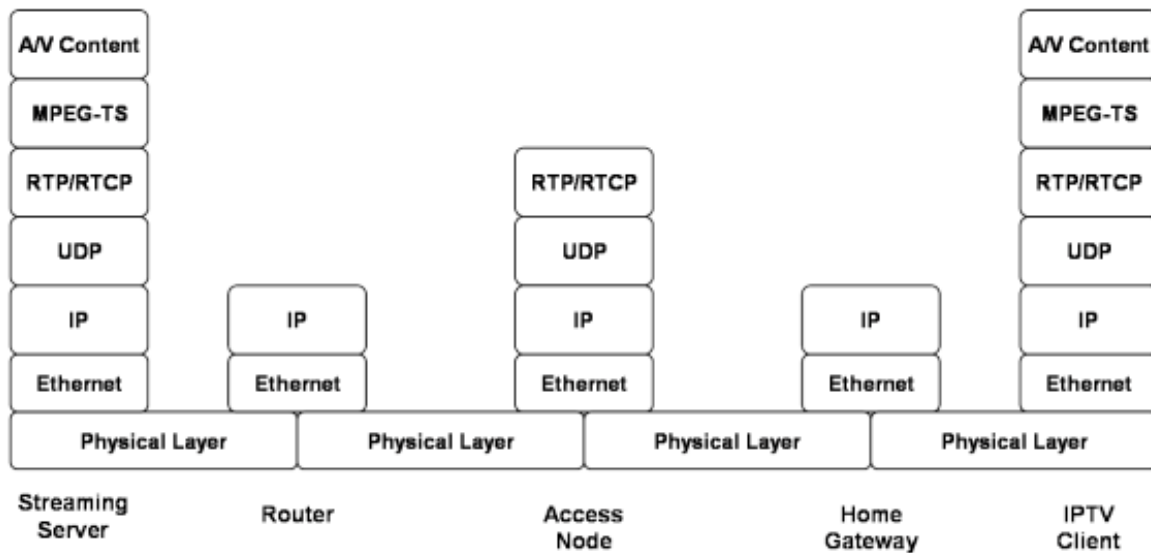
Otkrivanje i ispravljanje pogrešaka: RTP sam po sebi ne uključuje mehanizme za otkrivanje ili ispravljanje pogrešaka, ali uz tehnike ispravljanja pogrešaka može se koristiti za poboljšanje pouzdanosti IPTV prijenosa.

- U IPTV sustavima, *multicast* se često koristi za učinkovito isporučivanje sadržaja velikom broju gledatelja istovremeno, što omogućuje slanje istog sadržaja većem broju primatelja bez dupliciranja podataka.
- RTP se može koristiti u prilagodljivim rješenjima za strujanje kao što je dinamički prilagodljivi streaming preko HTTP-a (DASH) ili HTTP prijenos uživo (HLS) koji se obično koriste u IPTV uslugama. Ove tehnologije dinamički prilagođavaju kvalitetu video *streama* na temelju gledateljeve internetske veze i mogućnosti uređaja, pružajući bolje iskustvo gledanja.
- RTP se može koristiti za prijenos interaktivnih elemenata u IPTV-u, kao što su programski vodiči, izbornici na ekranu i povratne informacije gledatelja. To gledateljima omogućuje interakciju s IPTV uslugama, odabir sadržaja i pregledavanje dostupnih kanala i programa.
- RTP se može integrirati s mehanizmima zaštite sadržaja kao što su upravljanje digitalnim pravima (DRM) i enkripcija kako bi se osigurala isporuka sadržaja zaštićenog autorskim pravima u IPTV uslugama i spriječio neovlašteni pristup i distribuciju.

RTP je temeljni protokol IPTV sustava, koji osigurava učinkovitu i pouzdanu isporuku audio i video sadržaja gledateljima preko IP mreža. Njegova podrška za prijenos u stvarnom vremenu, sinkronizacija, *QoS* i prilagodljivost čine ga bitnim dijelom IPTV tehnologije, pomažući u pružanju visokokvalitetnog interaktivnog iskustva gledanja.

Kod IPTV prijenosa vrlo važnu ulogu igra predmemorija ponovnog prijenosa (*engl. Retransmission Cache*). Pakete podataka koje šalje *Streaming Server* prima IPTV klijent. Predmemorija za ponovni prijenos prima pakete koje je obradio pristupni čvor (*engl. access node*). To omogućuje predmemoriji ponovnog prijenosa da transparentno nadgleda pakete i

sprema ih u predmemoriju zbog mogućeg ponovnog slanja. Kada IPTV klijent primijeti da je određeni paket izgubljen, može zatražiti ponovni prijenos iz predmemorije za ponovni prijenos. To se postiže slanjem RTCP-a koji daje informaciju o izgubljenim paketima [6].



Slika 3.1. Multicast IPTV distribucijski skup protokola s RTP.

Na slici 3.1. prikazan je stog protokola IPTV multicasta. Mehanizam ponovnog prijensa zahtijeva identifikaciju paketa koji nedostaju, korištenje samo UDP-a za isporuku IPTV toka nije dovoljno pa RTP pruža mehanizam povratne informacije putem RTCP protokola. Stoga će se IPTV prijenosi prenositi korištenjem RTP-a povrh UDP-a, a RTCP protokol koristit će se za prijavu gubitka paketa.

3.4. Multiprijenos medija

RTP protokol ima važnu ulogu i u *streamingu* (hrv. Multiprijenos) medija. *Streaming* se osim na RTP protokolu temelji i na:

- SIP *Session Initiation Protocol* (protokol pokretanja sesije)
- RTCP (RTP kontrolni protokol)
- RTSP - *Real-Time Streaming Protocol* (u stvarnom vremenu - *Streaming Protocol*)

Iako se ovakvi sustavi temelje prvenstveno na SIP-u, i ostali prethodno navedeni protokoli implementirani su u ovaj sustav. Za pobliže pojašnjenje funkcioniranja tih sustava potrebno je predočiti funkciju svakog od protokola. Shodno tome, SIP protokol ima funkciju povezivanja klijenta i poslužitelja te obnaša dužnost prijenosa multimedijских podataka između ostalih protokola.

SIP predstavlja protokol koji se koristi za uspostavljanje *VoIP* veza. SIP se primarno koristi kada se želi uspostaviti, odnosno prekinuti, glasovni ili video poziv. Također SIP se koristi i kod modificiranja postojećih poziva, na primjer dodavanjem ili uklanjanjem sudionika u pozivu. SIP koristi model koji funkcionira na temelju upita i odgovora. Određena SIP transakcija sastoji se od upita koji je upućen od strane klijenta, a ista transakcija mora biti praćena sa najmanje jednim odgovorom koji je upućen od strane poslužitelja. SIP se sastoji od sljedećih komponenta [7]:

- korisnički agenti - svaki uređaj koji traži SIP spajanje (npr. IP telefon)
- posredni poslužitelj – s funkcijom pronalaženje korisnika te prevođenje adresa
- identifikacijski poslužitelj – služi za prihvaćanje identifikacijskih zahtjeva
- preusmjerivački poslužitelj - prima zahtjeve i onda daje odgovor s nekim drugim adresama za uspostavu veze
- locirajući poslužitelj - služi za pronalazak trenutne lokacije, odnosno IP adrese korisnika

Multimedijски podaci koji se prenose su video, glas, slika. RTP kao samostalan protokol ne jamči kvalitetu usluge. Za to je zadužen RTCP koji upravlja nadzorom i povratnim informacijama o kvaliteti. Kontrolnu ulogu u streamingu ima RTSP protokol koji pruža mogućnost daljinskog upravljanja za audio i video, kao što su:

- Reprodukcijska
- Zaustavljanje
- Premotavanje unaprijed, unatrag, i sl.

RTP ima ključnu ulogu u aplikacijama za strujanje gdje su bitni niska latencija i sinkronizirana isporuka multimedijskog sadržaja. Ključni aspekti uloge RTP-a u streamingu su:

RTP omogućuje prepoznavanje različitih vrsta medijskih sadržaja, što ga čini svestranim za različite primjene. Polje vrste korisnih podataka u RTP zaglavlju specificira format kodiranja

medijskih podataka, dopuštajući primateljima da na odgovarajući način interpretiraju i dekodiraju dolazne pakete [5].

RTP je dizajniran za upravljanje sinkronizacijom multimedijских tokova što je osobito važno u scenarijima gdje se audio i video moraju reproducirati u savršenom skladu. Vremenske oznake i redni brojevi olakšavaju sinkronizaciju, osiguravajući da prijammici mogu rekonstruirati izvorno vrijeme medijskog sadržaja.

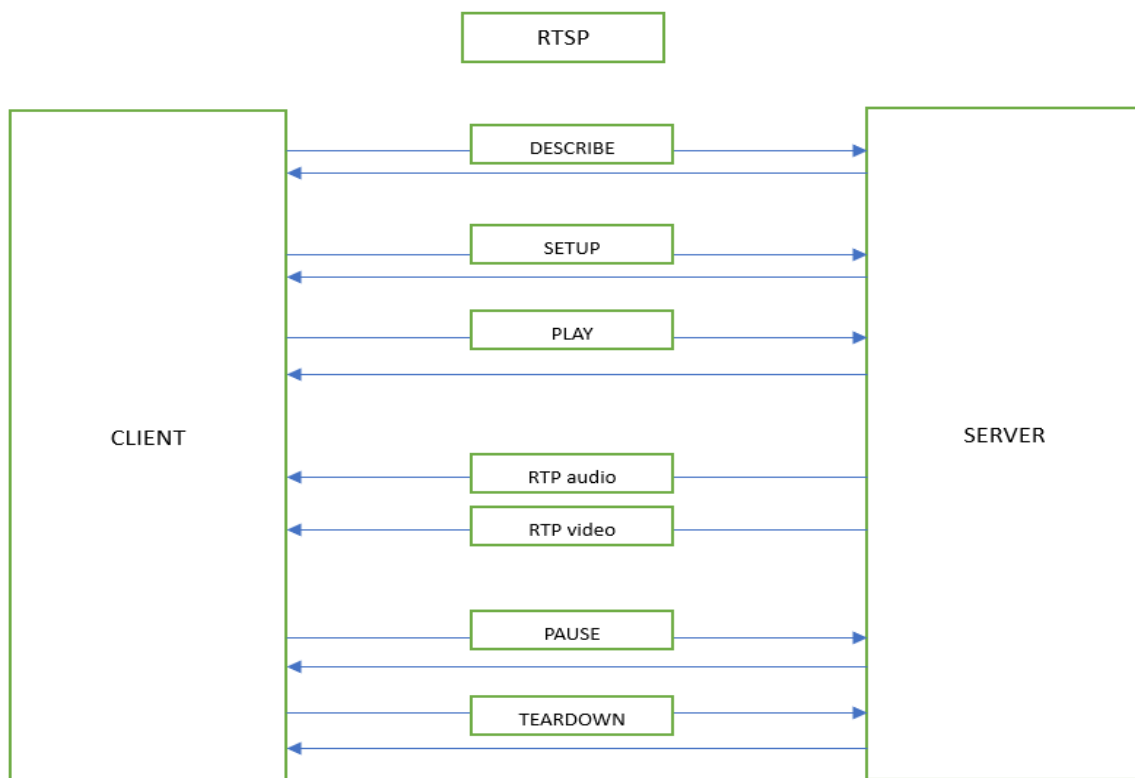
Podrška za povratne informacije - RTP se koristi u kombinaciji s drugim protokolima, kao što je *Real-Time Control Protocol* (RTCP), za pružanje povratnih informacija o kvaliteti medijskog toka. RTCP omogućuje sudionicima u sesiji strujanja razmjenu informacija o gubitku paketa, podrhtavanju i drugim metrikama, omogućujući prilagodljiva rješenja strujanja za prilagodbu parametara za optimalnu izvedbu.

Dinamičke vrste nosivosti - RTP omogućuje dinamičko dodjeljivanje vrsta korisnih podataka, pružajući fleksibilnost za korištenje različitih formata kodiranja. Ovo je osobito važno u scenarijima u kojima se može koristiti više kodeka unutar aplikacije za streaming.

Otkrivanje i ispravljanje pogrešaka - Iako sam RTP ne pruža mehanizme za otkrivanje i ispravljanje pogrešaka, može se koristiti u kombinaciji s drugim protokolima ili mehanizmima za poboljšanje robusnosti aplikacija za streaming. Na primjer, *Forward Error Correction* (FEC) može se koristiti za oporavak izgubljenih paketa [5].

3.4.1. RTSP

RTSP koji djeluje na aplikacijskom sloju OSI modela jest *Streaming Session* protokol koji koristi RTP. To je mrežni kontrolni protokol koji koristi TCP za održavanje veze s kraja na kraj. Protokoli sesije su protokoli za pregovaranje/uspostavu sesije koji pomažu multimedijским aplikacijama.



Slika 3.2. RTPS sesija.

Na slici 3.2. pojašnjen je protok za RTSP tok između klijenta i poslužitelja. RTSP uspostavlja medijsku sesiju između RTSP krajnjih točaka (mogu biti 2 RTSP medijska poslužitelja) i pokreće RTP streaming za isporuku audio i video sadržaja s RTSP medijskog poslužitelja klijentu.

1. Inicijaliziranje RTP stoga na poslužitelju i klijentu – može se izvršiti pozivanjem konstruktora za objekt i inicijaliziranjem objekta s argumentima
 - Na poslužitelju - `Server rtspserver = new Server();`
 - Na klijentu - `Client rtsplient = new Client();`

2. Pokretanje TCP veze s klijentom odnosno poslužiteljem za RTSP sesiju
 - Na serveru

```
ServerSocket listenSocket = new ServerSocket(RTSPport);  
  
rtspserver.RTSPsocket = listenSocket.accept();  
  
rtspserver.ClientIPAddr = rtspserver.RTSPsocket.getInetAddress();
```

- Na klijentu

```
rtspclient.RTSPsocket = new Socket(ServerIPAddr, RTSP_server_port);
```

3. Postavljanje ulaznih i izlaznih filtera toka

```
RTSPBufferedReader = new BufferedReader(new  
InputStreamReader(theServer.RTSPsocket.getInputStream()));  
  
RTSPBufferedWriter = new BufferedWriter(new  
OutputStreamWriter(theServer.RTSPsocket.getOutputStream()));
```

4. Raščlanjivanje i odgovaranje na RTSP naredbe – potrebno je raščlaniti tokene kako bi se dobila vrsta RTSP zahtjeva, te se po primitku svakog zahtjeva šalje odgovor. Sam zahtjev može biti neki od: DESCRIBE, SETUP , PLAY, PAUSE , TEARDOWN

```
request = rtspserver.parse_RTSP_request();  
  
rtspserver.send_RTSP_response();
```

5. TEARDOWN RTSP naredba

Ili se poziva destruktor koji oslobađa resurse i završava sesiju ili se poziva BYE eksplicitno i zatvara sockete

```
rtspserver.RTSPsocket.close();  
  
rtspserver.RTPsocket.close();
```

3.4.2. RTP proces

Na poslužitelju se paketiraju video podaci u RTP pakete, to uključuje stvaranje paketa, postavljanje polja u zaglavlju paketa i kopiranje korisnog tereta (tj. jednog video okvira) u paket. Time se dobije okvir za slanje te se izrađuje sam paket [4].

- `RTPpacket rtp_packet = new RTPpacket(MJPEG_TYPE, imagenb, imagenb * FRAME_PERIOD, buf, video.getNextframe(buf));`

Formiranje RTP zaglavlja odozgo prihvaća parametre; PType, SequenceNumber, TimeStamp, data i data_length sljedećeg okvira u međuspremniku idu u paket

Nadalje se dohvaća bitstream paket i pohranjuje se u nizu bajtova i šalje kao Datagram paket preko UDP-a.

- `senddp = new DatagramPacket(packet_bits, packet_length, ClientIPAddr, RTP_dest_port);`
`RTPsocket.send(senddp);`

Na primatelju se konstruira novi DatagramSocket za primljene RTP pakete, na RTP portu klijenta

- `rcvdp = new DatagramPacket(buf, buf.length);`
`RTPsocket.receive(rcvdp);`

Na primatelju zaglavlje RTP paketa i dohvaćanje payloada

- `RTPpacket rtp_packet = new RTPpacket(rcvdp.getData(), rcvdp.getLength());`
`rtp_packet.getsequencenumber();`

`rtp_packet.getpayload(payload); // payload is bitstreams`

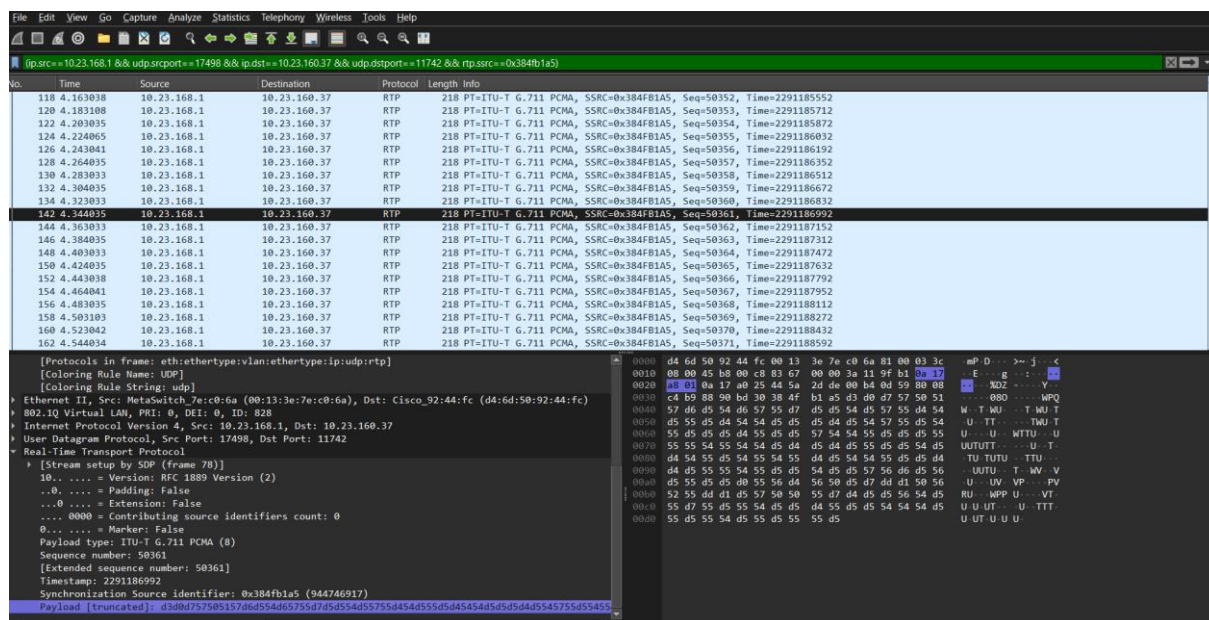
U konačnici se sadržaj dekodira kao sliku/videookvir/audiosegment te se šalje na korištenje playeru ili datoteci.

4. PRAKTIČNI DIO RADA

U praktičnom dijelu rada u testnom okruženju IMS-a (*IP Multimedia Subsystem*) snimljena je SIP signalizacija jednog uspješnog (tijek uspostave veze, razgovor i prekid veze) telefonskog poziva. Za potrebe rada bilo je dopušteno snimanje RTP protokola u eksperimentalne svrhe.

Signalizacija i sadržaj informacije (govor) se snimala pomoću programa Wireshark.

Wireshark je program koji omogućava mrežnu analizu protokola. Jedan je od vodećih svjetskih analizatora te ima vrlo široku primjenu u praksi. Njegovom primjenom omogućava se analiza svih tokova u mreži za određeni poziv. Na slici 4.1. prikazano je sučelje Wiresharka.



Slika 4.1. Sučelje Wireshark-a.

Neke od obilježja Wireshark programa su [8]:

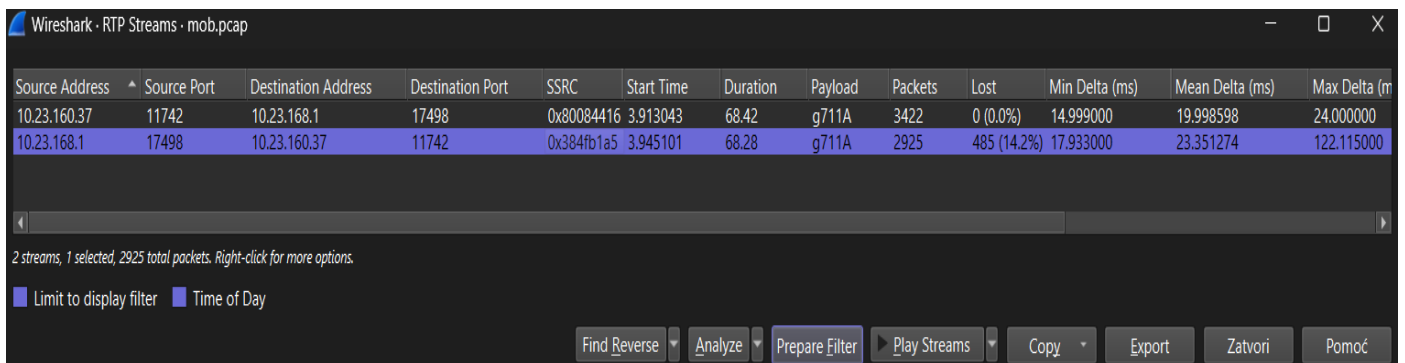
- Velik spektar (više stotina) protokola,
- Analiza protokola u realnom vremenu i analiza snimljene signalizacije
- Radi na većini postojećih platformi (primjerice Windows, Linux, macOS)
- VoIP analiza
- Pruža podršku dekodiranja većine protokola

- Snimljeni podaci mogu se spremiti u različitim formatima

Wireshark se najčešće koristi za analizu signalizacije i na taj način se koristi za otklanjanje potencijalnih problema na mreži, analizu sigurnosnih propusta te za razvijanje novih protokola [9].

4.1. ANALIZA RTP PAKETA

U praktičnom dijelu rada predočena je analiza signalizacije s RTP protokolom. Korišteni podaci snimljeni su u testnom okruženju za eksperimentalne svrhe. U mrežnom analizatoru protokola Wireshark odabirom na stavku *Telephony* te RTP i RTP *streams* prikazuju se svi tokovi koji su se pojavili u odabranoj signalizaciji. Ukupno je bilo dva RTP toka što je prikazano na slici 4.2.



The screenshot shows the Wireshark RTP Streams window for a file named 'mob.pcap'. It displays a table with two rows of RTP stream data. The first row shows a stream from source 10.23.160.37 to destination 10.23.168.1. The second row shows a stream from source 10.23.168.1 to destination 10.23.160.37. The second row is highlighted in blue, indicating it is selected. Below the table, there is a status bar indicating '2 streams, 1 selected, 2925 total packets. Right-click for more options.' and a toolbar with buttons for 'Find Reverse', 'Analyze', 'Prepare Filter', 'Play Streams', 'Copy', 'Export', 'Zatvori', and 'Pomoć'.

Source Address	Source Port	Destination Address	Destination Port	SSRC	Start Time	Duration	Payload	Packets	Lost	Min Delta (ms)	Mean Delta (ms)	Max Delta (ms)
10.23.160.37	11742	10.23.168.1	17498	0x80084416	3.913043	68.42	g711A	3422	0 (0.0%)	14.999000	19.998598	24.000000
10.23.168.1	17498	10.23.160.37	11742	0x384fb1a5	3.945101	68.28	g711A	2925	485 (14.2%)	17.933000	23.351274	122.115000

Slika 4.2. RTP tokovi u audio pozivu.

Na slici je vidljivo kako jedan RTP tok ide prema SIP posredniku dok drugi tok ide prema SIP klijentu. U oba smjera korišten je kompresija govora prema preporuci G.711, A-zakon. Može se vidjeti da je gubitak RTP paketa od smjera 10.23.168.1 prema smjeru 10.23.168.37 14,2%, dok u suprotnom smjeru nije bilo gubitaka paketa. I uz gubitak od 14,2 % RTP paketa govor je bio razumljiv.

Na slici 4.2. prikazan je RTP paket s odredišnim portom 17498.

```
▶ Internet Protocol Version 4, Src: 10.23.168.1, Dst: 10.23.160.37
▶ User Datagram Protocol, Src Port: 17498, Dst Port: 11742
▼ Real-Time Transport Protocol
  ▶ [Stream setup by SDP (frame 78)]
    10.. .... = Version: RFC 1889 Version (2)
    ..0. .... = Padding: False
    ...0 .... = Extension: False
    .... 0000 = Contributing source identifiers count: 0
    0... .... = Marker: False
    Payload type: ITU-T G.711 PCMA (8)
    Sequence number: 50361
    [Extended sequence number: 50361]
    Timestamp: 2291186992
    Synchronization Source identifier: 0x384fb1a5 (944746917)
    Payload [truncated]: d3d0d757505157d6d554d65755d7d5d554d55755d454d555d5d45454d5d5d4d5545755d55455
```

Slika 4.3. RTP paket.

U ovom RTP paketu korištena verzija 2 RTP-a, *padding* (P) postavljen je na vrijednost *False* što znači da se RTP paketu ne dodaje ispuna. Nema proširenja zaglavlja na što ukazuje oznaka *False* na *extension* (X). CSRC broj (CC) odnosno broj identifikatora koji doprinose je 0, što znači da nema (dodatnih) izvora. Vrijednost markera je također *False* što znači da marker nije postavljen. Marker označava posljednji paket u okviru. *Payload type* sadrži vrijednost ITU-T G.711 PCMA (8) što predstavlja europski standard za audio kompresiju. *Sequence number* iznosi 50361, svakom RTP paketu u nizu je dodijeljen redni broj što označava položaj paketa u nizu. Prošireni broj sekvence (*engl. Extended sequence number*) iznosi 50361. Vremenska oznaka (*engl. Timestamp*) predstavlja vrijeme u kojem je uzorkovan prvi oktet u RTP paketu podataka te iznosi 2291186992 (koristi se u svrhu sinkronizacije). Identifikator izvora sinkronizacije (SSRC) je jedinstveni identifikator za izvor RTP toka. To je 32-bitna vrijednost, a u ovom slučaju to je 0x384fb1a5 (944746917 u decimalnom zapisu). Korisni teret (*engl. Payload*) označava stvarne podatke koji se prenose u RTP paketu. U ovom slučaju, korisni sadržaj je niz heksadecimalnih vrijednosti: d3d0d757505157d6d554d65755d7d5d554d55755d454d555d5d45454d5d5d4d5545755d55455d5d5d4, koje u ovom slučaju predstavljaju audio sadržaj.

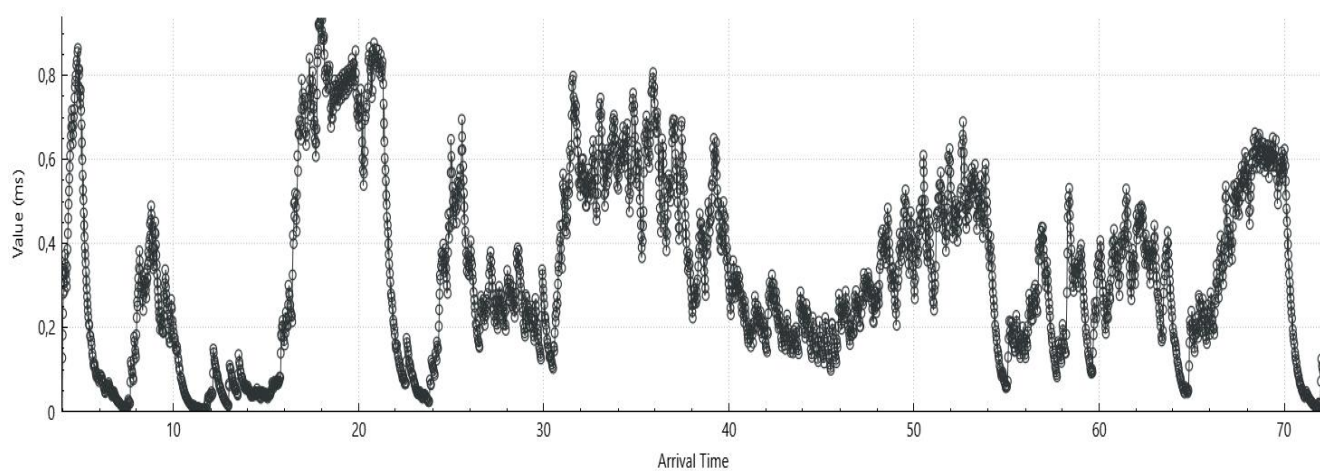
Slika 4.4. prikazuje sažete rezultate analize Wireshark-om za odabrani toka podataka od smjera 10.23.168.1 prema smjeru 10.23.168.37.

SSRC	0x384fb1a5
Max Delta	122.115000 ms @ 1640
Max Jitter	0.938459 ms
Mean Jitter	0.330850 ms
Max Skew	2.355000 ms
RTP Packets	2925
Expected	3410
Lost	485 (14.22 %)
Seq Errs	485
Start at	3.945101 s @ 94
Duration	68.28 s
Clock Drift	-1 ms
Freq Drift	7999 Hz (-0.00 %)

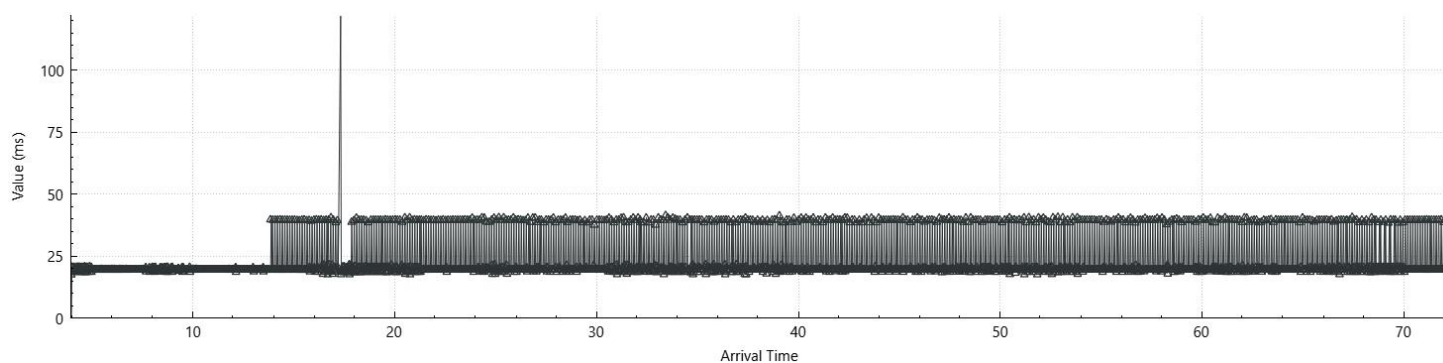
Slika 4.4. Sažeti rezultati Wiresharka.

Podrhtavanje (*engl. Jitter*), prikazan na slici 4.4, predstavlja varijaciju kašnjenja prilikom primanja paketa i on utječe na prijenos kvalitete govora. Maksimalna vrijednost *jitter-a* iznosi 0,938459 ms. Vrijednosti parametara testnog poziva prikazane na slici 4.4. su:

- **SSRC** - identifikator izvora podataka s vrijednosti 0x384fb1a5
- **Max Delta** – predstavlja razliku između vremena primitka trenutnog paketa i vremena primitka paketa prije njega te iznosi 122,115000 ms
- **Max Skew** – prikazuje koliko dugo je trenutni paket ispred ili iza cijelog poziva u odnosu na nominalnu brzinu pakiranja te iznosi 2.355000 ms
- **RTP Packets** - ukupan broj RTP paketa jednak je 2925
- **Lost** – prikazuje broj te postotak izgubljenih paketa u ovom slučaju 485 odnosno 14.22% za odabrani smjer
- **Duration** - iskazuje trajanje poziva te iznosi 68.28 sekundi



Slika 4.5. Vrijednosti *Jitter*-a tijekom poziva za smjer s 14,2% izgubljenih RTP paketa



Slika 4.6. Vrijednosti parametra *delta* za smjer s 14,2 % izgubljenih RTP paketa

Vrijednost *stream delta* kao što je prikazano na slici 4.6. prikazuje vrijeme dolaska paketa, odnosno vremensko kašnjenje. Pojavom većih vrijednosti *jitter*-a vrijednost delte se može povećavati i proizvesti gubitak paketa. Propisanim vrijednostima, kašnjenje u jednosmjernom prijenosu ne bi smjelo biti preko 150 ms kada se radi o prijenosu govora.

5. ZAKLJUČAK

RTP je protokol u mrežnom sloju OSI modela koji se koristi za prijenos audio i video podataka u stvarnom vremenu putem podatkovnih mreža. Pruža mehanizme za pravovremenu isporuku podataka s malom latencijom i podržava sinkronizaciju između više tokova.

RTCP radi na odvojenom priključku od RTP-a i u sprezi s RTP-om kako bi osigurao mehanizme kvalitete usluge, odnosno kontrolne i povratne informacije za komunikacijske sesije u stvarnom vremenu. Održava kvalitetu usluge, pruža informacije o sudionicima u sesiji i prenosi povratne informacije o gubitku paketa, podrhtavanju i latenciji mreže. Ujedno generira periodična izvješća za razmjenu statističkih informacija među sudionicima.

VoIP je tehnologija koja omogućuje glasovnu komunikaciju i multimedijske sesije putem Interneta ili drugih podatkovnih mreža, omogućuje ekonomičnu i fleksibilnu govornu komunikaciju sve više zamjenjujući tradicionalne telefonske sustave.

Širok raspon protokola koje podržava Wireshark omogućuje snimanje i analizu različitih prometnih slučajeva i tokova u mrežama, te se vrlo često se koristi za otklanjanje pogrešaka u mrežama.

Podaci u radu analizirani uz pomoć programa Wireshark pokazuju da i uz 14% izgubljenih RTP paketa govor još uvijek može biti razumljiv.

LITERATURA

- [1] Schulzrinne, H., Casner, S., Frederick, R., & Jacobson, V. (2003). RTP: A transport protocol for real-time applications (No. rfc3550).
- [2] Wing, D. (2007). Symmetric RTP/RTP Control Protocol (RTCP) (No. rfc4961).
- [3] Casner, Stephen & Frederick, R. & Jacobson, V.. (2003). RTP: Prijenosni protokol za aplikacije u stvarnom vremenu. Radna grupa za internetsko inženjerstvo
- [4] RealTime Transport protocol (RTP) and supporting protocols, 2019. Dostupno na: <https://telecom.altanai.com/2019/02/25/realtime-transport-protocol-rtp-and-rtp-control-protocol-rtcp/>
- [5] Palacharla, S., Karmouch, A., & Mahmoud, S. A. (1997, August). Design and implementation of a real-time multimedia presentation system using RTP. In Proceedings Twenty-First Annual International Computer Software and Applications Conference (COMPSAC'97) (pp. 376-381). IEEE.
- [6] Prins, Martin. (2023). Fast retransmission for multicast IPTV.
- [7] Johnston, A. B. (2015). *SIP: understanding the session initiation protocol*. Artech House.
- [8] Analiza alata Wireshark. Dostupno na: <https://www.cert.hr/wp-content/uploads/2019/04/NCERT-PUBDOC-2010-09-312.pdf>
- [9] Wireshark. Dostupno na: <https://www.wireshark.org/>

SAŽETAK

Cilj ovog završnog rada bio je prikazati upotrebu RTP protokola. U teorijskom dijelu rada opisan je RTP protokol koji služi za prijenos podataka u stvarnom vremenu te je sveprisutan u suvremenom dobu. Prilikom prijenosa podataka podaci se kodiraju u RTP pakete. Takvi paketi prenose se putem mrežne veze. Prijenos uključuje dvije strane, primatelja i pošiljatelja. RTP ima raznoliku primjenu pa se tako primjenjuje u VoIP-u, online igrama, IPTV-u te u multiprijenosu medija. RTP ne funkcionira samostalno već se kombinira s drugim protokolima kao što su RTSP koji je iznimno važan za multiprijenos medija u stvarnom vremenu.

U praktičnom dijelu rada analizirani su podaci signalizacije s RTP protokolom. Za obradu podataka korišten je program Wireshark te su prikazani svi tokovi koji su se pojavili prilikom prijenosa paketa. Analizom utvrđene su vrijednosti koje utječu na kvalitetu i točnost isporuke podataka primjerice Stream Jitter, Lost, Max Delta.

Ključne riječi: RTCP, RTP, VoIP

SUMMARY

The aim of this bachelor thesis was to show the use of the RTP protocol. In the theoretical part of the paper, the RTP protocol is described, which is used for data transmission in real time and is ubiquitous in the modern age. During data transmission, the data is encoded into RTP packets. Such packets are transmitted over a network connection. A transmission involves two parties, the receiver and the sender. RTP has a variety of applications, so it is used in VoIP, online games, IPTV and in multicast media. RTP does not work independently but is combined with other protocols such as RTSP which is extremely important for real-time media multicast.

In the practical part of the work, signaling data with the RTP protocol was analyzed. The Wireshark program was used for data processing, and all flows that appeared during packet transmission were displayed. The analysis determined values that affect the quality and accuracy of data delivery, for example Stream Jitter, Lost, Max Delta.

Key words: RTCP, RTP, VoIP

PRILOZI

Popis slika

Slika 2.1. Struktura toka RTP i RTCP protokola.....	3
Slika 2.2. Format i dijelovi RTP protokola.	4
Slika 3.1. Multicast IPTV distribucijski skup protokola s RTP.....	17
Slika 3.2. RTPS sesija.	20
Slika 4.1. Sučelje Wireshark-a.....	24
Slika 4.2. RTP tokovi u audio pozivu.....	26
Slika 4.3. RTP paket.....	27
Slika 4.4. Sažeti rezultati Wiresharka.	28
Slika 4.5. Vrijednosti Jitter-a tijekom poziva za smjer s 14,2% izgubljenih RTP paketa	29
Slika 4.6. Vrijednosti parametra delta za smjer s 14,2 % izgubljenih RTP paketa	29

ŽIVOTOPIS

Hrvoje Pajić rođen je u 25. veljače 1999. godine u Osijeku. 2013. godine završava osnovnu školu Ivana Filipovića u Osijeku, potom upisuje I. gimnaziju u Osijeku koju završava 2017. godine. 2017. godine upisuje preddiplomski studij matematike i računalstva na Odjelu za matematiku u Osijeku no svoj put ipak prepoznaje na Fakultetu elektrotehnike, računalstva i informacijskih tehnologija u Osijeku, gdje 2019. godine upisuje stručni preddiplomski studij Računalstva.